

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Univerzitní studijní programy
Mechatronické systémy

Řídicí systém pro model pásového dopravníku
Control System for Conveyor Belt Model

Student: Ondřej Grycz

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student:

Ondřej Grycz

Studijní program:

B3943 Mechatronika

Studijní obor:

3906R006 Mechatronické systémy

Téma:

Řídicí systém pro model pásového dopravníku
Control System for Conveyor Belt Model

Zásady pro vypracování:

1. Popište vlastnosti a možnosti programování 32-bitových procesorů PIC a seznámte se s vývojovým prostředím MPLAB.
2. Vytvořte knihovnu funkcí pro práci s periferiemi pro 32-bitový mikroprocesor PIC.
3. Popište jednotlivé prvky pneumatické stavebnice ROBO PneuVac (snímače, akční členy) a sestavte model pásového dopravníku dle dostupného schématu.
4. Navrhněte řídicí systém pro dopravu materiálu na modelu pásového dopravníku.
5. Experimentálně ověřte funkčnost navržených algoritmů řízení na reálném modelu a zhodnoťte dosažené výsledky.

Seznam doporučené odborné literatury:

HEROUT, P. 2004. Učebnice jazyka C. 4.vyd. České Budějovice: KOPP a.s., 2004. ISBN: 978-80-7232-383-8.
KOPÁČEK, J. 1996. Pneumatické mechanismy. Díl 1. Pneumatické prvky a systémy. Skripta VŠB-TU Ostrava, 1996.
MANUÁL K PROCESORU PIC32MX360F512L. [online]. [cit. 2012-09-18] Dostupné z WWW stránek <<http://www.microchip.com/>>.
VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ MICROC. [online]. [cit. 2012-09-18] Dostupné z WWW stránek <<http://www.mikroe.com/mikroc/pic/>>.
MPLAB USER'S GUIDE. [online]. [cit. 2012-09-18] Dostupné z WWW stránek <<http://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/52027a.pdf>>.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 15.05.2013



prof. Ing. Jiří Tůma, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Petr Noskiewicz, CSc.
prořektor pro studium

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 7.5.2013


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 7.5.2013


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Ondřej Grycz

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Výchledy 315/19
725 28 Ostrava Hošťálkovice



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Poděkování

Tato práce byla vypracována s podporou projektu Příležitost pro mladé výzkumníky, reg. č. CZ.1.07/2.3.00/30.0016 podpořeného Operačním programem Vzdělávání pro konkurenceschopnost, financovaného ze strukturálních fondů EU a státního rozpočtu ČR.

Děkuji především panu Ing. Miroslavu Mahdalovi, Ph.D. za poskytnuté konzultace při přípravě mé bakalářské práce.

Anotace

Grycz, O. *Řídicí systém pro model pásového dopravníku: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Univerzitní studijní programy, 2013, 41 s. Vedoucí práce: Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá řídicím systémem pro model pásového dopravníku založeným na produktu PIC32MX360F512L firmy Microchip. Jedná se o 32 - bitový mikroprocesor, který slouží jako řídicí jednotka pro řízení činnosti modelu pásového dopravníku. Hlavním cílem této práce je naučit se programovat tento mikroprocesor, umět s ním pracovat, využívat jeho periferie a napsat ukázkové programy pro jednotlivé periferie. Získané poznatky jsou aplikovány na modelu pásového dopravníku, konkrétně na jeho řídicí části, kterou tvoří mikroprocesor PIC32MX360F512L. V této práci byl model pásového dopravníku sestaven a je navrhnout algoritmus pro řízení dopravy materiálu na tomto modelu.

Klíčová slova: dopravník, mikroprocesor, Microchip, PIC32, stavebnice, vývojové prostředí.

Annotation of bachelor thesis

Grycz, O. *Control system for conveyor belt model: Bachelor thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, University study programs, 2013, 41 p. Thesis head: Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

Bachelor thesis deals with control system for controlling of conveyor belt based on products PIC32MX360F512L of Microchip company. This is a 32 - bit microprocessor which serves as control unit for controlling of conveyor belt. Main goal of this thesis is learn program this processor can work with it can use its peripherals and write sample programs for peripherals. Acquired knowledge is applied to model the conveyor belt, specifically in its control part, which consists of a microprocessor PIC32MX360F512L. In this thesis the conveyor belt is assembly and a algorithm of driving is designed.

Keywords: conveyor, microprocessor, Microchip, PIC32, building kit, development enviroment.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	9
1 Úvod	11
2 Způsoby a možnosti programování 32 – bitových mikroprocesorů.....	12
2.1 Řídicí mikroprocesor	12
2.2 Vývojová deska.....	13
2.3 Vývojové prostředí	15
3 Periferie mikroprocesoru.....	17
3.1 Vstupně/výstupní porty	17
3.2 Sériová komunikace UART	18
3.3 Časovač	19
3.4 Analogově digitální převodník	20
3.5 Komunikace standartu I ² C	21
3.6 Hodiny reálného času.....	22
4 Stavebnice pásového dopravníku	24
4.1 Zdroj energie.....	25
4.2 Ovládací ventily	26
4.3 Akční členy	28
4.4 Snímače.....	29
4.5 Vedení	31
Pás	32

5	Návrh řídicího systému	33
5.1	Algoritmus řízení	33
5.2	Schéma obvodu.....	34
5.3	Deska plošných spojů	37
6	Závěr	38
7	Seznam použitých pramenů	40
8	Seznam příloh.....	41

Seznam použitých značek a symbolů

IDE	Integrated Development Environment - vývojové prostředí
IO	Input Output - vstup a výstup
I ² C	Inter-Integrated Circuit - sériová sběrnice pro komunikaci
JTAG	rozhraní pro programování a odlaďování
kb	kilobit - jednotka kapacity paměti
ksps	kilo samples per second - kilo vzorků za sekundu
LAT	Název registru daného mikroprocesoru
LED	Light Emitting Diode - dioda emitující světlo
mA	miliampér - jednotka elektrického proudu
MHz	MegaHertz - jednotka frekvence
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor - tranzistor řízený elektrostatickým polem, jehož řídicí elektroda je od zbytku struktury tranzistoru odizolovaná oxidem
PC	Personal Computer - osobní počítač
PIC32	typ procesoru od firmy Microchip
PLL	Phase Lock Loop - systém, který generuje výstupní hodinové pulzy odvozené ze vstupních pulzů
PORT	název registru daného mikroprocesoru
RC oscilátor	oscilátor složený z odporu a kondenzátoru
RISC	Reduced Instruction Set Computing - procesory s redukovanou instrukční sadou
RTCC	Real Time Clock and Calendar - modul v mikroprocesoru odpočítávající reálný čas

RTCCON	název registru daného mikroprocesoru
RTCDATE	název registru daného mikroprocesoru
RTCTIME	název registru daného mikroprocesoru
TRIS	název registru daného mikroprocesoru
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter - sériová komunikace
USB	Universal Serial Bus - sériová sběrnice pro komunikaci
V	volt - jednotka elektrického napětí
W	watt - jednotka elektrické energie

1 Úvod

Dnešní doba zažila veliký rozmach 32 - bitových mikroprocesorů, kdy se tyto mikroprocesory svou cenou přibližují 8 - bitovým mikroprocesorům. Velký počet výrobců vyrábí 32 - bitové mikroprocesory v mnoha typech. Tyto mikroprocesory začínají díky poměru cena/výkon nahrazovat klasické 8 - bitové mikroprocesory. Je tedy vhodné se naučit tyto mikroprocesory programovat, používat je a využívat jejich výpočetní výkon. K tomuto účelu byla zadána bakalářská práce, která má za cíl naučit se programovat zadaný mikroprocesor a umět ho používat v reálných aplikacích. Naučené poznatky jsou aplikovány prakticky na modelu pásového dopravníku. Hlavním cílem této práce je vytvořit řídicí systém pro model pásového dopravníku a přitom se naučit programovat zadaný mikroprocesor. Model pásového dopravníku neměl svůj vlastní řídicí systém a bylo nutné jej vytvořit pro řízení a ovládání stavebnice modelu pásového dopravníku. Po vypracování této práce bude k dispozici pomůcka pro výuku programování 32 - bitových mikroprocesorů a kontrolu napsaných programů pro 32 - bitové mikroprocesory.

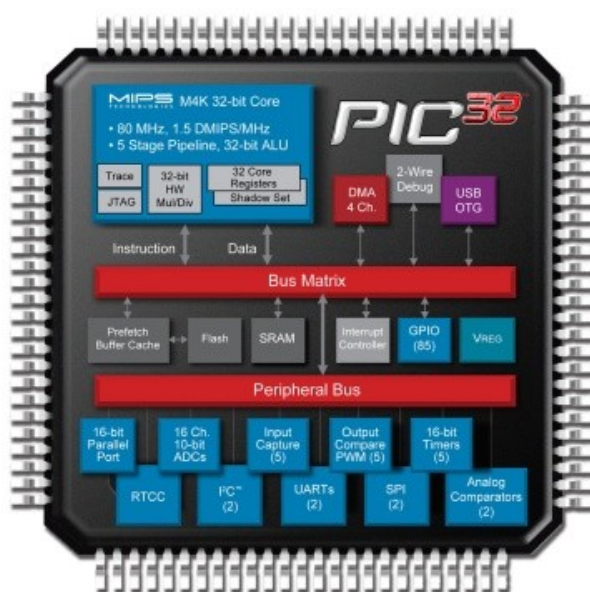
2 Způsoby a možnosti programování 32 – bitových mikroprocesorů

V této kapitole je popsán samotný řídicí mikroprocesor, jeho příslušenství a vývojové prostředí, ve kterém se mikroprocesor programuje. Mikroprocesor tvoří hlavní řídicí část celého dopravníku a jeho řídicí algoritmus rozhoduje o vykonávané operaci či způsobu řízení.

2.1 Řídicí mikroprocesor

Základní řídicí jednotkou této bakalářské práce je 32 – bitový mikroprocesor s vnitřní architekturou RISC od firmy Microchip, typ PIC32MX360F512L. Jeho maximální frekvence je 80 MHz, je tedy jako ostatní 32 – bitové mikroprocesory velice rychlý. Díky této vlastnosti se 32 – bitové mikroprocesory nasazují do aplikací, kde je potřeba velký výpočetní výkon.

Jak je vidět na obr.1, tento PIC32 má spoustu programovatelných periférií. Každá periférie potřebuje ke své funkčnosti hodinové pulzy, které jsou odvozeny od hlavního oscilátoru, jímž může být externí krystal nebo interní RC oscilátor. Z tohoto zdroje hodinového signálu se poté přes děličku a násobičku PLL programově určuje, na jaké frekvenci můžou periférie fungovat. Díky PLL násobičce a děličce lze dosáhnout maximální rychlosti vnitřního hodinového signálu pro periférie (80 MHz) s použitím 8 MHz krystalu. Díky této rychlosti dosahuje mikroprocesor značného výpočetního výkonu, tudíž zvládne i poměrně složité výpočty vyřešit během relativně krátké chvilky.



Obr. 1: Blokové schéma programovatelných periférií mikroprocesoru [Design world online 2012]

Výše zmíněný mikroprocesor má paměť programu o velikosti 512 kb typu FLASH, do níž lze nahrát napsaný program, který se posléze vykonává po dobu činnosti mikroprocesoru.

2.2 Vývojová deska

Pro seznámení se s mikroprocesorem, kontrolu funkčnosti programu a zjednodušení vývoje programu je v této práci použita vývojová deska PIC32 Starter Kit od firmy Microchip (obr. 2) obsahující výše zmíněný mikroprocesor, 3 LED, 3 tlačítka, externí krystal o frekvenci 8 MHz, indikační LED diodu označenou nápisem DEBUG a pomocný čip, který zprostředkovává komunikaci mezi vývojovým prostředím a mikroprocesorem. Ta indikuje stav, kdy je mikroprocesor v takzvaném odladovacím (debugovacím) režimu a je možno nahraný program krokovat a postupně odladovat pro jeho správnou funkčnost. Připojení této desky k PC a vývojovému prostředí je zprostředkováno pomocí mikro USB konektoru. Přes tento konektor je možno program nahrát i odladit. Mikroprocesor je napájen z USB portu počítače a po jeho připojení je mikroprocesor plně funkční a soběstačný. Není proto třeba dalších součástek k oživení a chodu mikroprocesoru.



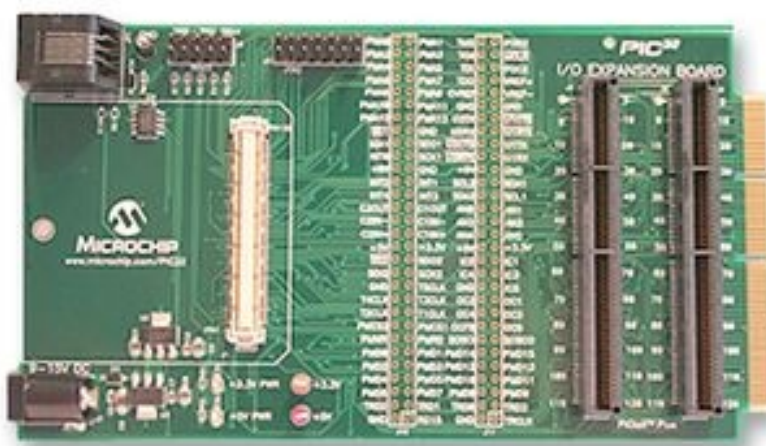
Obr. 2: PIC32 Starter Kit [John Lomis 2012]

Pro možnost připojení mikroprocesoru k více snímačům, akčním členům a dalším externím součástkám je tato vývojová deska rozšířena pomocí desky Daughter Expansion Board rovněž od firmy Microchip (obr. 3). Pomocí desky lze pak využít plný potenciál mikroprocesoru. Na desce jsou vyvedeny všechny vstupně/výstupní piny mikroprocesoru a lze tedy lehce k mikroprocesoru připojit jakoukoli externí součástku např. již zmíněné snímače a akční členy. Kromě vyvedených pinů má deska také možnost vlastního napájení mikroprocesoru po přivedení stejnosměrného elektrického napětí o maximální hodnotě 15 V na napájecí konektor v dolní levé části desky. Od tohoto napájení je dále odvozeno

a stabilizováno nejen napájení konektoru, ale také základní napětí 3,3 V a 5 V, které je pak vyvedeno na externí piny na desce pro možnost napájení externích součástek. Toto napájení je také vyvedeno mezi vstupně/výstupní piny mikroprocesoru. Další možnost zapojení externích součástek, případně dalších rozšiřujících desek je přes konektory PICtail™ Plus, do kterých je možno zapojit další externí desky dodávané výrobcem. Pro tuto práci není potřeba těchto dalších desek, proto nejsou žádné zapojeny. Samozřejmě má tato deska také konektor k připojení modulu PIC32 Starter Kit se samotným mikroprocesorem.

Rozšiřující deska Daughter Expansion Board má také konektory pro další možnosti programování. Programovat se díky této desce nemusí pouze přes konektor USB, ale také přes JTAG konektor a Trace konektor. Pro programování přes tato dvě rozhraní je potřeba zapojit externí napájecí napětí.

Deska je použita pro připojení modelu pásového dopravníku k mikroprocesoru za účelem jeho ovládání a řízení a byla upravena napájením počítačových pinů na vyvedené vstupně/výstupní porty.



Obr. 3: Daughter Expansion Board [Farnell 2012]

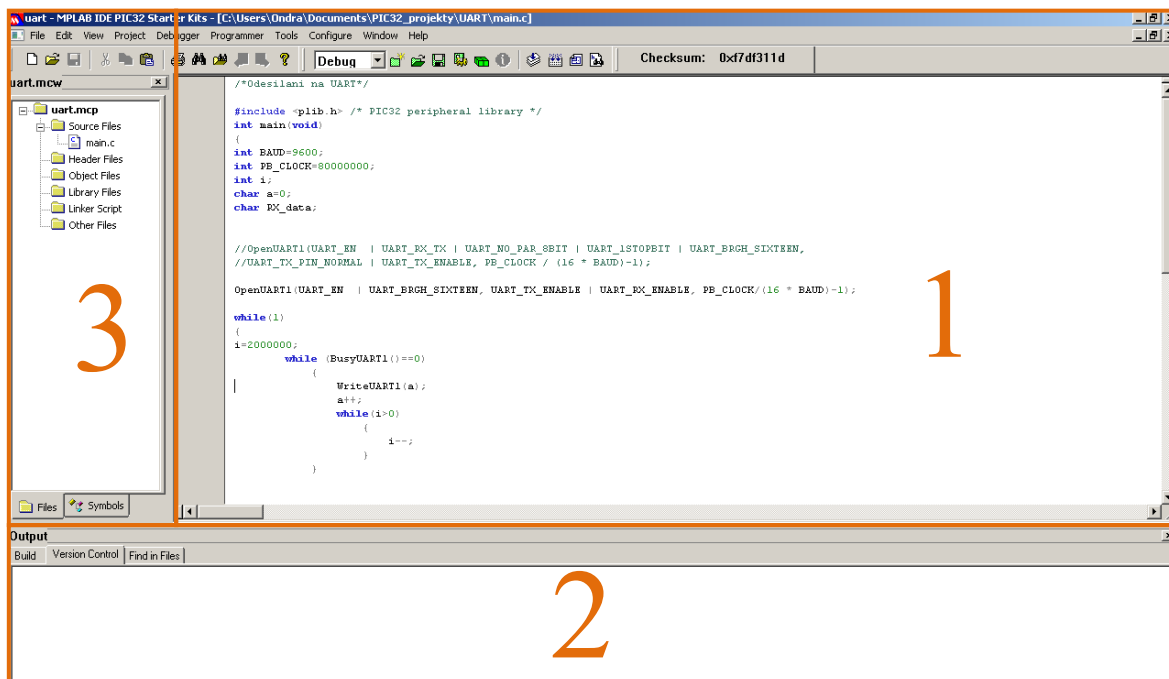
2.3 Vývojové prostředí

Vývojové prostředí je takový software, ve kterém je možné napsat program vykonávaný mikroprocesorem. Program pro mikroprocesor se píše v různých syntaxích (jazycích). V dřívějších dobách se tyto programy psaly v jazyce symbolických adres neboli v jazyce Assembler. Tento jazyk přinášel absolutní kontrolu nad funkcí programu a nad mikroprocesorem. Musí se v něm vše ručně nastavit, tudíž programování mikroprocesorů vyšších řad a psaní složitějších programů s náročnými algoritmy je velice zdoluhavé a časově náročné, proto se v dnešní době používá vyšších programovacích jazyků. Jedním z nich je jazyk C a právě v něm jsou napsány všechny programy v této práci. Jazyk C umožňuje pokročilou práci s knihovnami a funkcemi napsanými přímo výrobcem mikroprocesoru. Je to tedy nejvýhodnější volba pro daný typ mikroprocesoru.

Pro daný mikroprocesor existují různá vývojová prostředí, která jej přímo podporují. Základní vývojová prostředí jsou MicroC od firmy Mikroelektronika a prostředí MPLab IDE od společnosti Microchip. Prostředí MicroC sice umí programovat zadaný mikroprocesor, nemá však podporu pro použitou vývojovou desku. Program napsaný v tomto vývojovém prostředí, se musí do mikroprocesoru na vývojové desce nahrát přes externí programátor, např. Presto od firmy Asix. Tento způsob je zdoluhavý a neumožňuje odladování programu přes debugovací režim přímo za běhu mikroprocesoru.

Na rozdíl od výše popsaného prostředí má MPLab IDE plnou podporu této vývojové desky, tedy i debugovací režim a odladování programu, stejně jako přímé programování přes počítačovou sběrnici USB. Práce a programování je tedy jednodušší, rychlejší, bez zbytečných dalších programovacích modulů a program se lépe odladuje pro svou správnou funkčnost.

Z porovnání výše uvedených dvou dostupných vývojových prostředí vyplývá, že je nejlepší volbou prostředí MPLab IDE a v něm bude naprogramován mikroprocesor při této práci.



Obr. 4: Vývojové prostředí MPLab IDE pro mikroprocesor řady PIC32 na vývojové desce Starter KIT

Samotné vývojové prostředí má tři hlavní části, jak je zobrazeno na obr. 4:

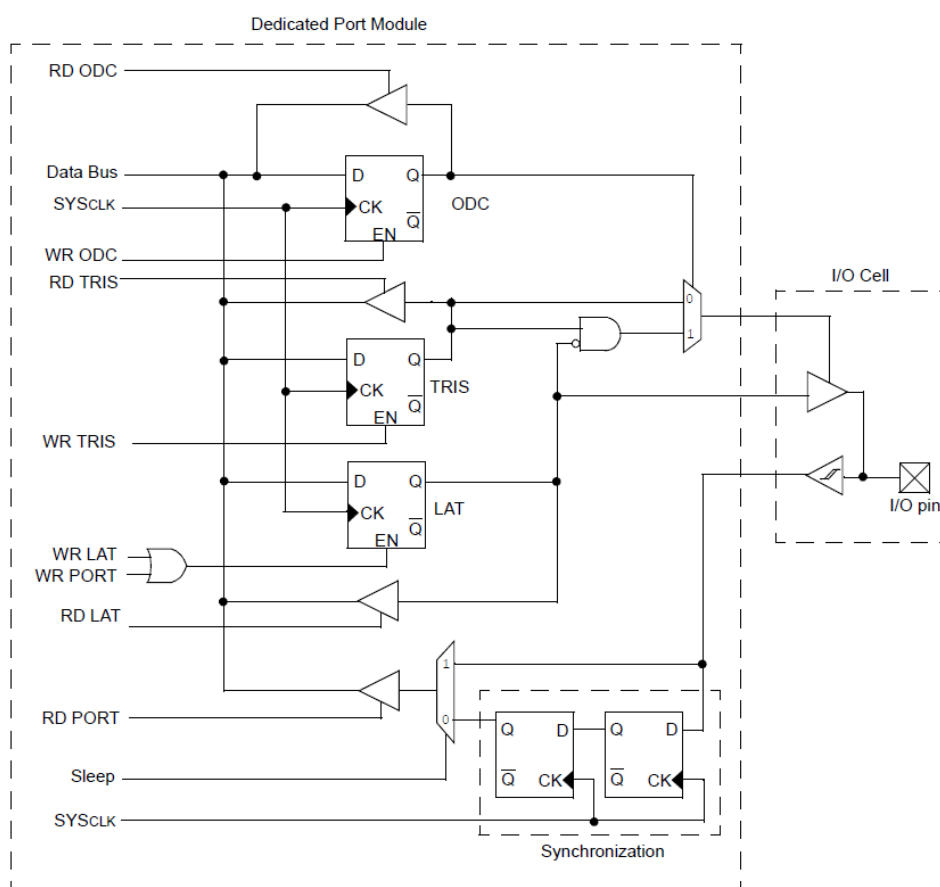
1. Okno, v němž se zobrazuje právě otevřený soubor projektu.
2. Okno "Output", kde se zobrazují podrobnosti kompilování.
3. Adresářové okno, které zobrazuje adresáře a soubory přiřazené k aktuálnímu projektu.

3 Periferie mikroprocesoru

Tato kapitola popisuje periferie mikroprocesoru, způsob jejich programování a práci s nimi. Ukázkové programy k popsáným periferiím jsou přiloženy v přílohách.

3.1 Vstupně/výstupní porty

Vstupně/výstupní porty jsou základní periferií mikroprocesoru, jenž díky nim může monitorovat a řídit ostatní k němu připojená zařízení. Některým pinům ze vstupně/výstupních portů jsou přiřazovány další funkce, které závisí na jiných periferiích.



Obr. 5: Blokové schéma vnitřní struktury vstupně/výstupního portu [Microchip 2013]

Všechny piny vstupně/výstupních portů mají tři registry (TRIS, LAT a PORT). Registr TRIS určuje směr toku dat, tedy to, zda bude pin vstupní nebo výstupní. Pokud se do registru TRIS v programu zapíše hodnota 1, bude příslušný pin nastaven jako vstupní, pokud se zapíše hodnota 0, bude pin nastaven jako výstupní. Všechny piny vstupně/výstupních portů jsou po resetu mikroprocesoru nastaveny jako vstupní.

Registr PORT se používá pro čtení dat, jež jsou na pinu vstupně/výstupního portu právě ve chvíli čtení.

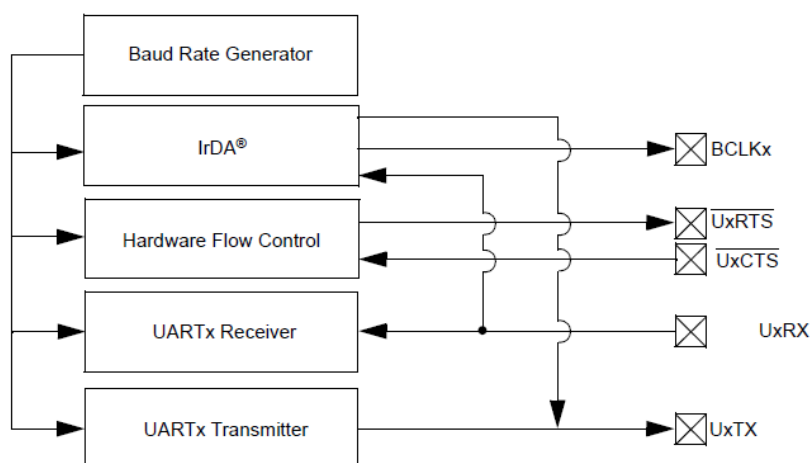
Registr LAT se používá pro zápis dat na piny vstupně/výstupního portu.

V ukázkovém programu pro vstupně/výstupní port se k těmto registrům přistupuje přes funkce knihovny plib.h, která díky těmto funkcím nastaví příslušné registry daného portu.

3.2 Sériová komunikace UART

UART modul mikroprocesoru zajišťuje full-duplexní (oběma směry současně) asynchronní přenos (nepoužívá se externí hodinový signál). Mikroprocesor podporuje 8 bitový nebo 9 bitový přenos s jedním nebo dvěma stop bity. Také obsahuje plně integrovaný Baud Rate generátor pro výpočet rychlosti komunikace, IrDA enkodér a dekodér pro komunikaci přes IrDA (infračervený přenos) a hardwarovou kontrolu toku dat.

Rychlost této komunikace se určuje a zadává pomocí Baud Rate. Jedná se o jednotku rychlosti, která udává počet změn stavu bitů za jednu sekundu. V tomto případě počet změn stavu 1 bitu za 1 sekundu.



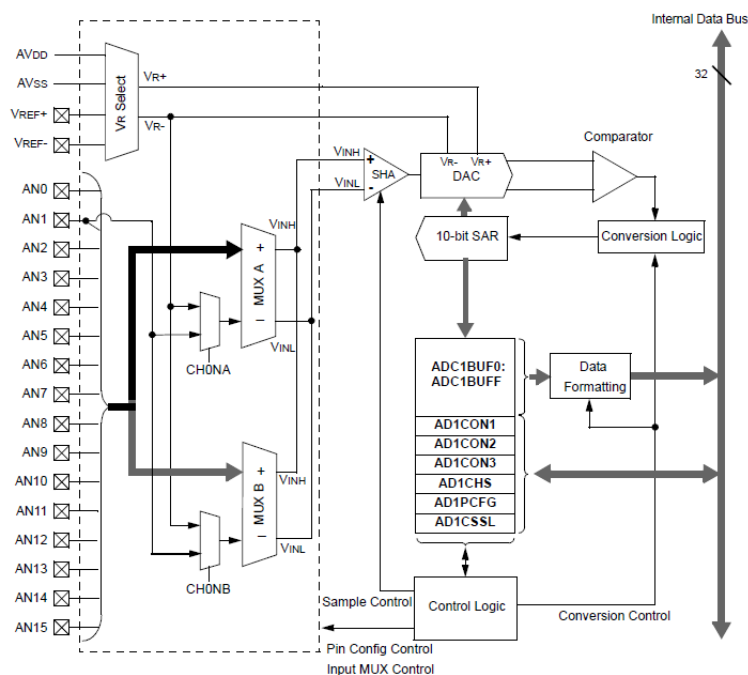
Obr. 6: Zjednodušené blokové schéma modulu UART [Microchip 2013]

Pro základní komunikaci je třeba dvou pinů: RX (receive - přijímací) a TX (transmitter - odesílací) pin. Jedná se o digitální vstupní (RX) nebo výstupní (TX) piny pro hardwarové spojení zařízení, které spolu mají komunikovat.

V programu je třeba nejprve nastavit modul UART, nastavit typ komunikace a vypočítat Baud Rate pro komunikaci.

3.4 Analogově digitální převodník

Modul analogově digitálního (číslicového) převodníku se v tomto mikroprocesoru nazývá ADC (Analog-to-Digital Converter). Rychlost analogově digitálního převodníku je až 500 kpsps za sekundu, jeho rozlišení je 10 bitů, má až 16 vstupních pinů a také piny pro připojení externího referenčního napětí. Převodník může pracovat, i když je mikroprocesor v režimu SLEEP nebo IDLE.

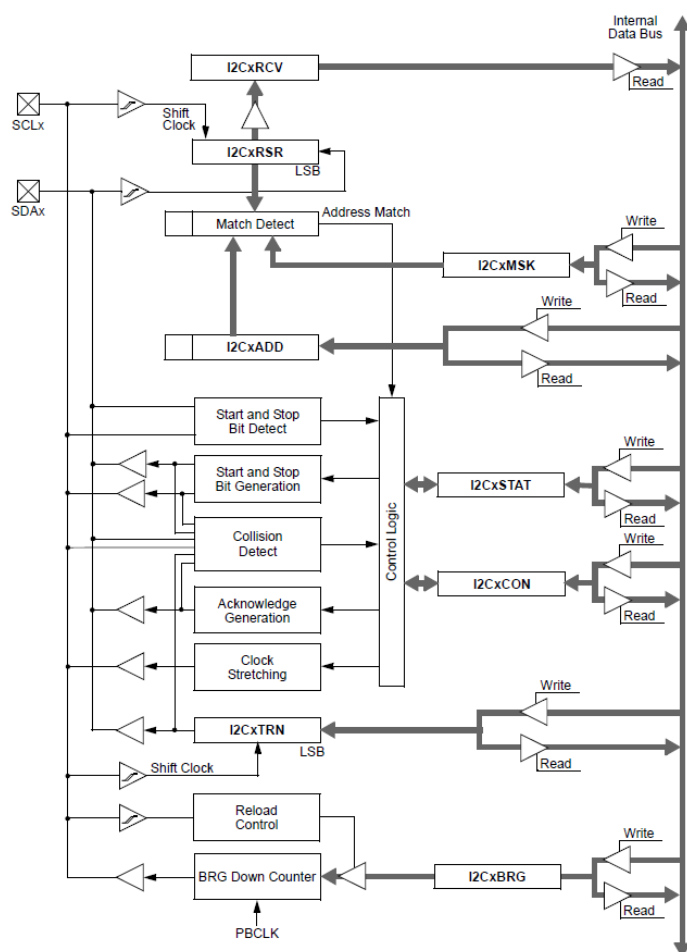


Obr. 8: Blokové schéma analogově-digitálního převodníku [Microchip 2013]

Na obr. 8 je ukázáno blokové schéma analogově digitálního převodníku. Na něm je vidět, že převodník má 16 měřicích vstupů a 2 vstupy pro připojení externího referenčního napětí. Toho napětí je sdíleno mezi ostatní vstupní piny a může být také použito jako referenční napětí pro další analogové moduly. Vstupní piny jsou připojeny na dva multiplexory, které přivádějí napětí z každého pinu postupně na obvod realizující analogově digitální převod. Před tímto obvodem je zapojen obvod SHA, což je tzv. Sample and Hold Amplifier, čili zesilovač signálu, který vezme vzorek právě přivedeného napětí a hodnotu tohoto napětí drží po celou dobu převodu. Hodnota vzorku vstupního napětí je pak porovnávána s referenčním napětím a převedena do digitální podoby, jež je uložena do registru ADC1BUF0. Nastavování vlastností převodu se zadává přes kontrolní registry.

3.5 Komunikace standartu I²C

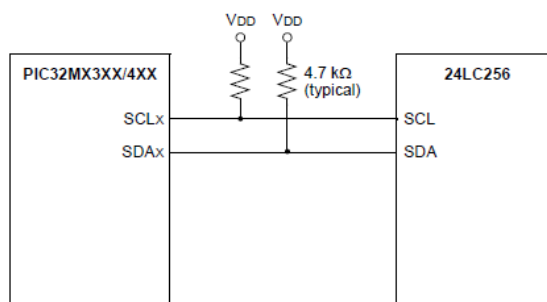
Modul komunikace přes rozhraní I²C je tvořeno plnou hardwarovou podporou pro oba módy komunikace Slave nebo multimaster. Zadaný mikroprocesor má dva I²C kanály a každý z nich má pin SDA pro datový přenos a SCL pro hodinové impulzy přenosu. Standart I²C je tedy synchronní sériová komunikace. Modul I²C mikroprocesoru podporuje režim Master nebo Slave, může adresovat nebo mít adresu o velikosti 7 nebo 10 bitů a umožňuje obousměrný přenos dat mezi zařízením typu Master a Slave. Modul I²C může také generovat přerušování Master, Slave a přerušování při kolizi na sběrnici.



Obr. 9: Blokové schéma modulu I²C mikroprocesoru [Microchip 2013]

Na obr. 9 je vidět blokové schéma modulu komunikace přes rozhraní I²C. Modul se nastavuje pomocí kontrolního registru I2CXCON, jeho status stavů na sběrnici I²C se vyčítá z registru I2CXSTAT. Adresa a maskování adresy se zadává do registrů I2CXADD a I2CXMSK. Jak už bylo řečeno, I²C je synchronní rozhraní, je tedy nutné generovat hodinové pulzy, které jsou vysílány zařízením typu Master. Pokud je Master zadaný

mikroprocesor, frekvence těchto pulzů se zadává do registru I2CXBRG, kde se zadává hodnota odpovídající určité frekvenci.



Obr. 10: Blokové schéma zapojení sběrnice I²C [Microchip 2013]

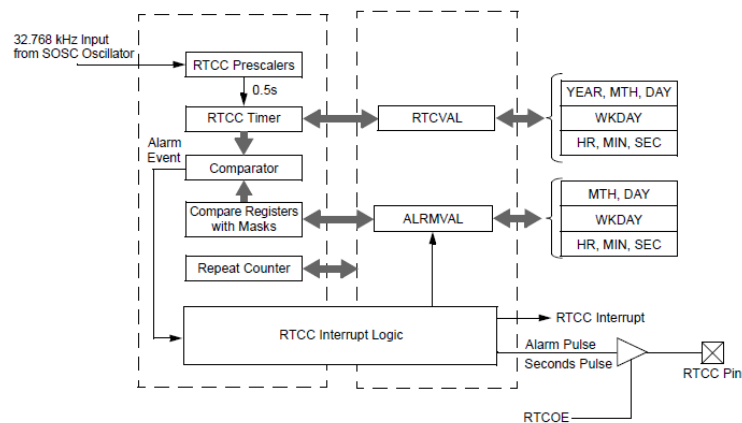
Pro správnou funkčnost komunikace je při spojení dvou zařízení komunikující přes rozhraní I²C nutné připojit na oba vodiče SDA i SCL tzv. pull up rezistory, klasicky o velikosti 4,7 kΩ, které zajišťují to, že oba vodiče jsou v neaktivním stavu v logické 1.

3.6 Hodiny reálného času

Modul hodin reálného času v mikroprocesoru je určen pro aplikace, které vyžadují přesné měření času. Procesor zároveň může vykonávat instrukce jiného programu. K tomu je určen modul RTCC v zadaném mikroprocesoru (Real Time Clock and Calendar). Modul RTCC dokáže přesně odměřovat sekundy, minuty a hodiny, dny, měsíce a roky a také určuje, který den v týdnu je. Podporuje 24 hodinový formát času, tzv. vojenský čas. Modul reálného času v mikroprocesoru podporuje alarmy, které mohou nastat pouze jednou nebo se pravidelně opakují. Alarm je typ přerušení, který vznikne v zadaný čas. Tento modul má pouze jeden výstup, jenž může generovat sekundové pulzy nebo pulz při alarmu.

Pro správnou funkčnost modulu hodin reálného času v mikroprocesoru je potřeba sekundární externí oscilátor s přesnou frekvencí 32,768 kHz. Od této frekvence se odvozují pulzy pro správné odpočítávání reálného času. Modul umožňuje nastavovat kalibraci hodinových pulzů z externího oscilátoru pro zvýšení přesnosti hodin.

Často se požaduje, aby hodiny reálného času měřily čas i v případě, kdy je mikroprocesor odpojen od napájení. Pro tento případ se používá malá externí baterie, která napájí modul hodin reálného času a ten tak může fungovat nezávisle na napájení procesoru. Zadaný mikroprocesor má modul hodin reálného času přizpůsoben pro co nejmenší proudový odběr z externí baterie, tím je zajištěna co nejdelší možná životnost baterie.

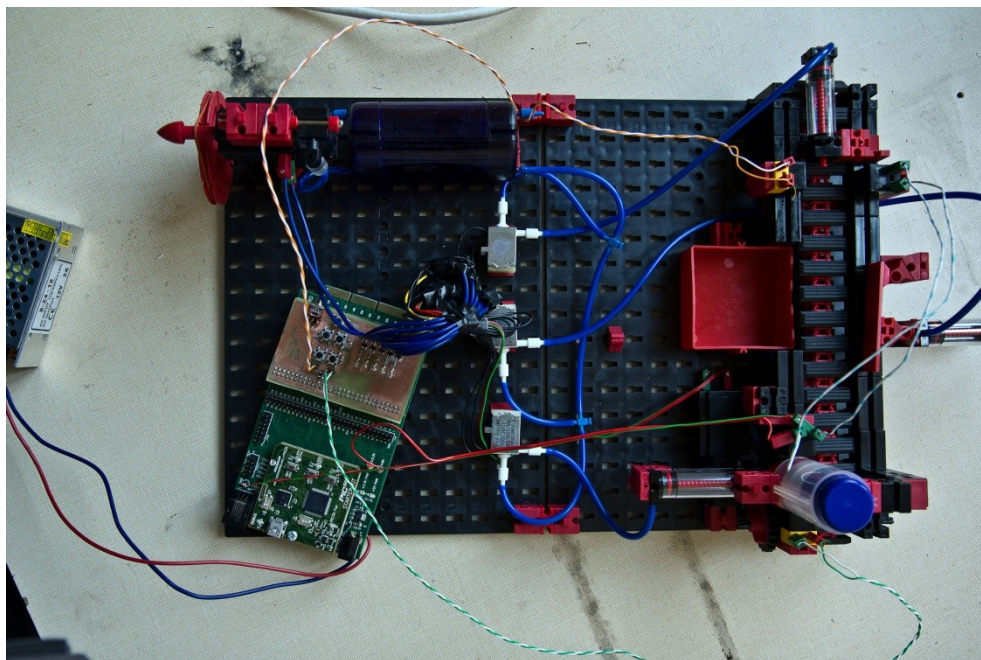


Obr. 11: Blokové schéma modulu hodin reálného času mikroprocesoru [Microchip 2013]

Kontrolní registr pro nastavení správné funkčnosti modulu hodin reálného času se nazývá RTCCON. Po jeho nastavení se nařídí počáteční čas a datum v registrech RTCTIME a RTCDATE. Poté se modul zapne a z registru RTCVAL se vyčítá aktuální čas. Modul hodin reálného času jde po prvotním nastavení zamknout proti přepisu původních hodnot. Pro přepsání hodnot v registrech je po zamčení třeba zadat přístupový klíč. Tehdy je možno opět hodnoty přepsat.

4 Stavebnice pásového dopravníku

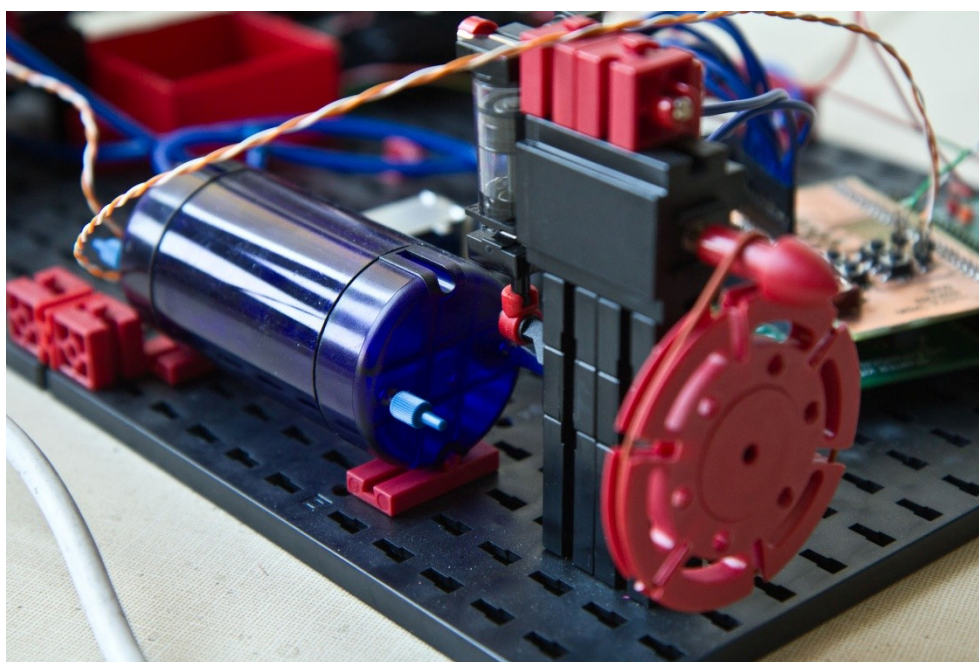
Stavebnice pásového dopravníku byla vybrána jako vhodný prostředek pro tvorbu řídicího systému, který u tohoto modelu doposud chyběl. Jedná se o pneumatickou stavebnici ROBO PneuVac firmy Fischertechnik. Popisem všech prvků použitých v této aplikaci se věnuje následující kapitola.



Obr. 12: Celkový pohled na sestavenou stavebnici ROBO PneuVac

4.1 Zdroj energie

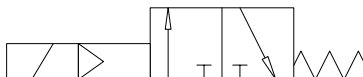
Všechny akční členy stavebnice jsou pneumatické, potřebují tudíž zdroj tlakové energie. Zdrojem tlakové energie je zde malý pístový kompresor, který natlakuje tlakovou nádobu, z níž pak tlakovou energii odebírají akční členy řízené elektromagnetickými ventily. Kompresor je poháněn malým stejnosměrným elektromotorem napájeným napětím 12 V. Při takovém napětí je jeho proudový odběr 230 mA, jeho výkon je 2,76 W. Tyto hodnoty byly reálně naměřeny pomocí multimetru při sériovém zapojení. Elektromotor uvádí přes pružnou spojku v pohyb malou klikovou hřídel, díky které se rotační pohyb odvozený od elektromotoru převede na pohyb lineární a píst tak může tlakovat tlakovou nádobu. Spojení elektromotoru a klikové hřídele je realizováno pružnou spojkou, takže se jedná o malou jednostupňovou převodovku s pomalým převodem. Pokud se tlaková nádoba plně natlakuje a kompresor pořád běží, dojde k prokluzu mezi hnací hřídelí elektromotoru a pružné spojky. Motor se díky tlaku v tlakové nádobě nezastaví ani nedojde k přetlakování tlakové nádoby. Přebytečná energie se ztratí při prokluzu. Tlaková energie z pístu jde do tlakové nádoby přes malý jednosměrný ventil. Tlaková energie se tedy nevrací do pístu, ale zůstává v tlakové nádobě.



Obr. 13: Kompresor s tlakovou nádobou

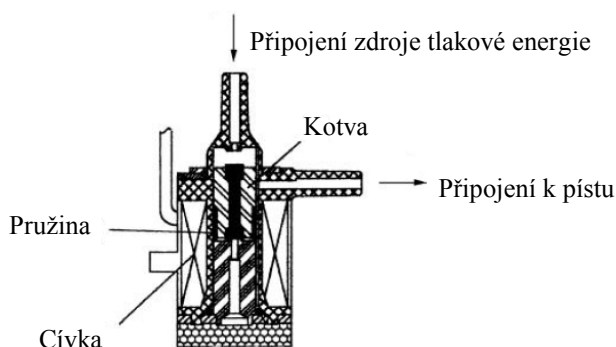
4.2 Ovládací ventily

Řízení akčních členů je prováděno ventily, které řídí směr toku tlakové energie. V tomto případě se jedná o elektromagnetické dvoupolohové/třícestné ventily s vratnou pružinou. Ventily jsou ovládány připojením stejnosměrného elektrického napětí o velikosti 9 V. Při takovém napětí je jejich proudový odběr 130mA a každý ventil tak spotřebovává 1,2 W energie. Připojením napětí na ventily lze elektricky řídit přívod tlakové energie k jednotlivým akčním členům. Schéma je naznačeno na obr. 14.



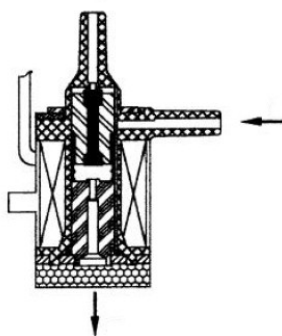
Obr. 14: Schéma použitého ventilu

Po připojení napájecího stejnosměrného napětí na cívku se vytvoří elektromagnetické pole, které má větší sílu než vratná pružina, a díky tomu přitáhne kotvu dolů. Tím se ventil otevře a vznikne volná cesta pro proud tlakové energie od zdroje k pístu, jak ukazují šipky na obr. 15.

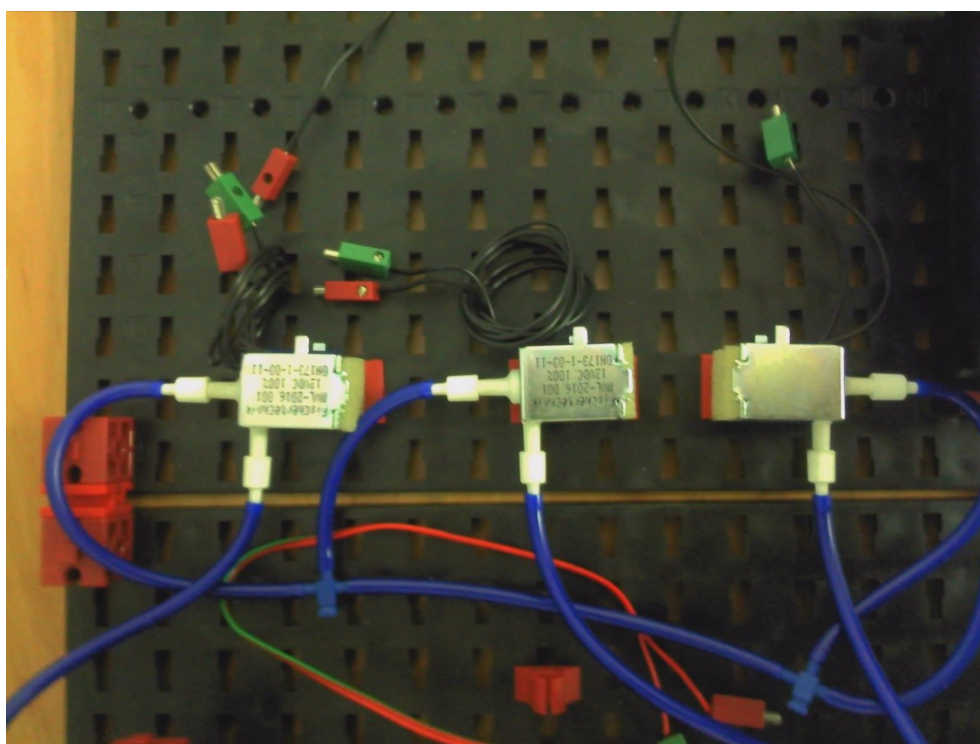


Obr. 15: Řez použitého ventilu při zapnutém napájení [Fischertechnik 2013]

Při odpojení napájecího stejnosměrného napětí elektromagnetické pole zanikne a sílu vratné pružiny už nadále nic nepřekonává, takže vratná pružina vytáhne kotvu nahoru a přívod tlakové energie se uzavře. Zároveň se otevře průchod mezi připojením k pístu a odpadním výstupem. To zaručí, že vzduch v pístu může uniknout ven a píst se tak vrátí do původní výchozí polohy, kde je plně zasunut díky jeho vlastní vratné pružině. Tento stav je zobrazen na obr. 16.



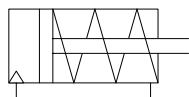
Obr. 16: Řez použitého ventilu při vypnutém napájení [Fischertechnik 2013]



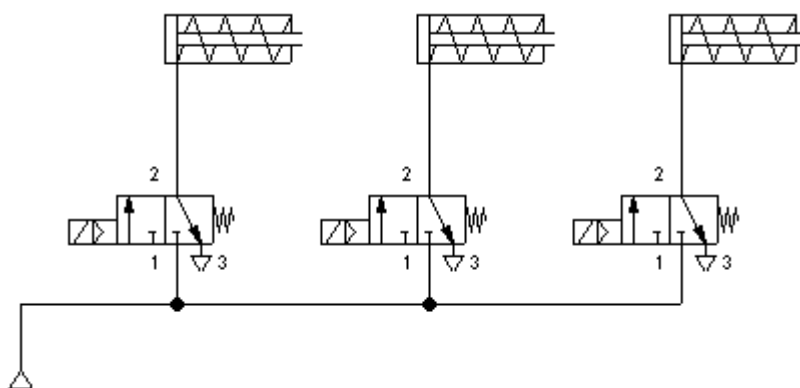
Obr. 17: Ovládací ventily s připojením k tlakové nádobě a akčním členům

4.3 Akční členy

Akčními členy jsou v této aplikaci přímočaré pneumatické motory (písty) s vratnou pružinou. Tyto písty převádějí tlakovou energii na přímočarý pohyb. Písty jsou rozmístěny na různých místech kolem pásu a zajišťují manipulaci s materiálem. Poté, co se ventil otevře a připojí píst ke zdroji tlakové energie, se píst vysune a zůstane v této poloze do doby, než se řídicí ventil uzavře a odpojí tak píst od tlakové energie, kdy se díky vratné pružině vrátí píst do původní polohy – zcela zasunut ve válci.



Obr. 18: Schéma použitého pneumatického pístu

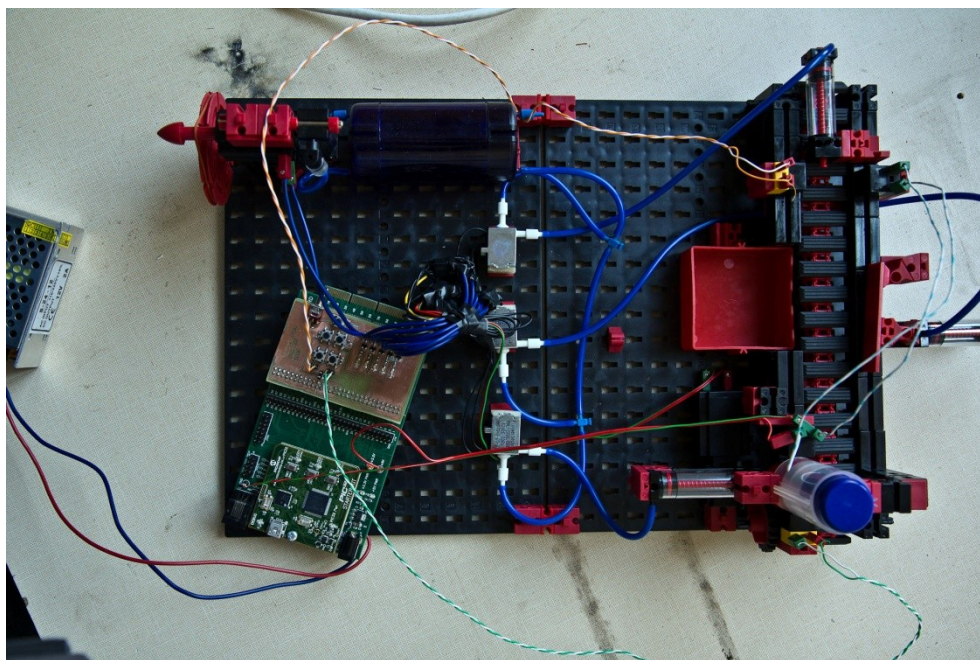


Obr. 19: Schéma hydraulického obvodu

Na obr. 19 je nakresleno schéma hydraulického obvodu, jak je realizován na stavebnici. Řídicí ventily jsou zapojeny paralelně ke zdroji tlakové energie - tlakové nádobě, která je tlakována pomocí vzduchového kompresoru. Paralelním zapojením je dosaženo toho, že se jednotlivé řídicí ventily navzájem neovlivňují a lze je tedy řídit jednotlivě podle potřeby.

Schéma bylo zprvu navrženo v programu FluidSIM ve verzi 3.6 od společnosti Festo. Program poskytuje také kromě možnosti vytvoření samotného návrhu pneumatického schématu možnost nasimulovat chování pneumatického obvodu. Tato funkce byla využita a funkčnost navrženého pneumatického obvodu byla v programu FluidSIM odzkoušena.

Na obr. 20 je fotografie rozmístění a zapojení pístů, jak je realizováno na stavebnici.



Obr. 20: Rozmístění pístů kolem pásu

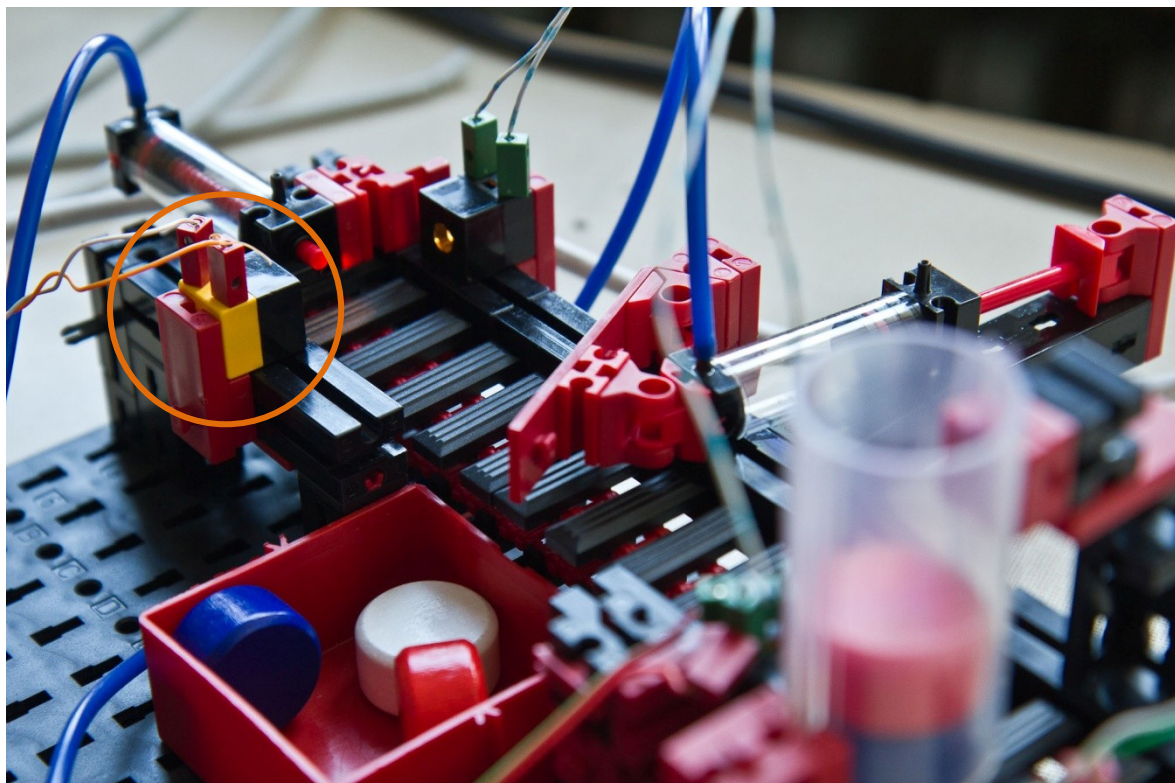
4.4 Snímače

Optické snímače slouží k detekci materiálu. Fungují na principu světelné závory, kdy je potřeba dvou modulů. První modul tvoří zdroj světla, který vysílá světelný paprsek směrem k druhému modulu. Druhý modul tvoří bipolární fototranzistor, jenž se otevírá a zavírá podle toho, zda na něj dopadá světlo. Když není materiál v místě snímače, je světelný tok od zdroje nepřerušen a dojde až k fototranzistoru, který je otevřen, tudíž jím může procházet proud. V momentě, kdy přijde na místo materiál, se světelný tok přeruší a fototranzistor se uzavře, takže přeruší obvod.



Obr. 21: Schematická značka fototranzistoru

Na kolektor tohoto tranzistoru je přivedeno kladné napětí 3,3V a emitor je přes rezistor uzemněn. Vstup do mikroprocesoru je připojen na rezistoru. Je-li fototranzistor uzavřen, je vstup mikroprocesoru přes odpor uzemněn a je tedy na něm logická 0. Otevře-li se fototranzistor, objeví se na rezistoru plné napětí 3,3V, jež je opět přivedeno na vstup mikroprocesoru, ale nyní je na něm logická 1. Tímto může mikroprocesor detekovat materiál na předem definovaných místech na dopravníku.



Obr. 22: Ukázka umístění snímače

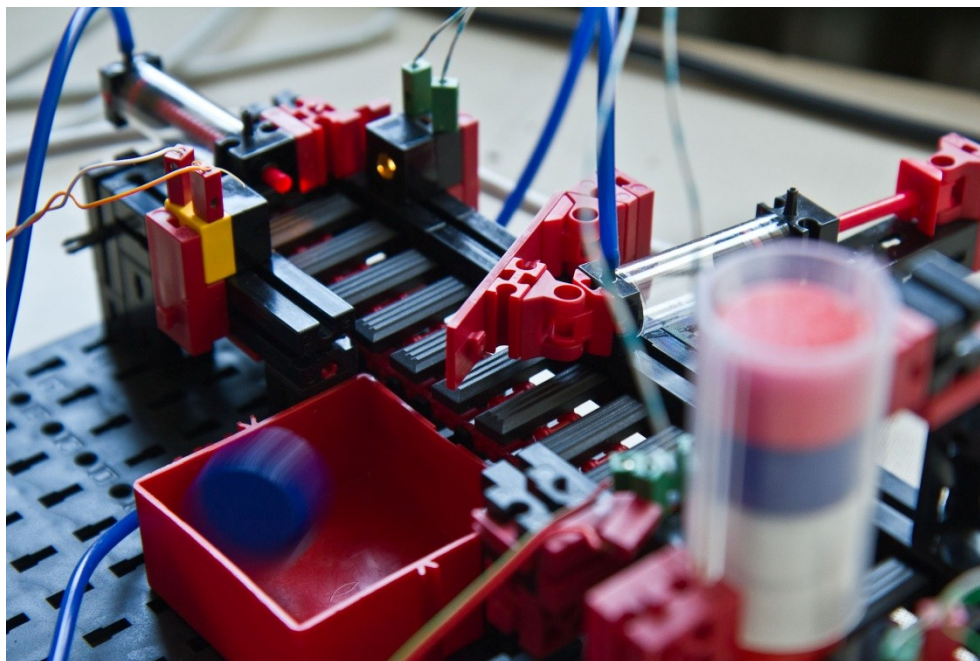
4.5 Vedení

Vedení spojuje všechny prvky v pneumatickém obvodu a slouží k distribuci tlakové energie vyráběné kompresorem. Díky vedení se tlaková energie dostane ke všem řídicím ventilům, které energii pak předají pneumatickým pístům. V této aplikaci je vedení realizováno modrými hadičkami, jež jsou nasunuty na vstupy a výstupy každého pneumatického prvku v obvodu. Ve stavebnici se nemusí toto připojení vedení nijak zajišťovat, protože tlaky, které se vyskytují ve vedení, nejsou tak vysoké, aby vedení rozpojily. Vedení je vidět na všech obrázcích modelu pásového dopravníku.

Hadičky jsou vyrobeny z polyetyleny, který je v technické praxi v pneumatických obvodech používán díky své dobré chemické odolnosti. Jeho mechanická odolnost je však nízká. Nejčastěji se používá polyamid (nylon), který je poměrně odolný, ale má malou pružnost. Naproti tomu pneumatické hadice z polyuretanu jsou pružné, ale méně odolné. Posledním rozšířeným materiálem pro pneumatické je polyvinyliden fluorid, který má vysokou chemickou, tepelnou i mechanickou odolnost. Pro připojování pneumatických hadic k jednotlivým prvkům v obvodu se používají nástrčné spojky typu PUSH IN. Hadice se zasune do určeného místa na pneumatickém prvku a zacvakne se.

Pás

Pás je nejzákladnějším prvkem pásového dopravníku. V této stavebnici je vyroben z plastových segmentů pohyblivě spojených k sobě. Slouží k transportu materiálu z úložiště do odběrného místa. Pás je poháněn přes převodovku s pomalým převodem tvořenou několika ozubenými koly stejnosměrným elektromotorem. Tento stejnosměrný elektromotor je identický s elektromotorem, který pohání kompresor, má tedy i stejný odběr elektrické energie.



Obr. 23: Pás na modelu pásového dopravníku

5 Návrh řídicího systému

Řídicí systém bude mít dva pracovní režimy. Automatický, kdy se bude veškerá činnost při přepravě materiálu vykonávat automaticky bez zásahu člověka, a manuální, kdy bude člověk ovládat jednotlivé akční členy v modelu.

Po hardwarové stránce tvoří řídicí systém vývojový kit s mikroprocesorem, rozšiřující deska Daughter Expansion Board a nadstavbová deska plošných spojů vyrobená pro tuto práci. Mikroprocesor s vyvinutou elektronikou pak bude dále ovládat jednotlivé řídicí ventily, jež ovládají pneumatické písty pro manipulaci s materiálem na páse. Elektromotor, který uvádí pás v pohyb, bude zapínán a vypínán, stejně jako elektromotor pro tlakování tlakové nádoby. V těchto případech bude použit vysokorychlostní IO port mikroprocesoru ve výstupním nastavení.

Optické snímače budou posílat do mikroprocesoru informace, díky nimž bude mikroprocesor znát pozici materiálu na páse, a na základě těchto informací bude řídicí systém schopen provést akční zásah. Zde bude vysokorychlostní IO port mikroprocesoru nastaven jako vstupní.

Aby mohl procesor ovládat akční členy na stavebnici pásového dopravníku a přijímat informace z optických snímačů je potřeba navrhnout a vyrobit nadstavbovou desku plošných spojů s obvody, které zajistí správný přenos informací mezi stavebnicí pásového dopravníku a mikroprocesorem. Nadstavbová deska tedy tvoří jakési rozhraní mezi mikroprocesorem a stavebnicí pásového dopravníku.

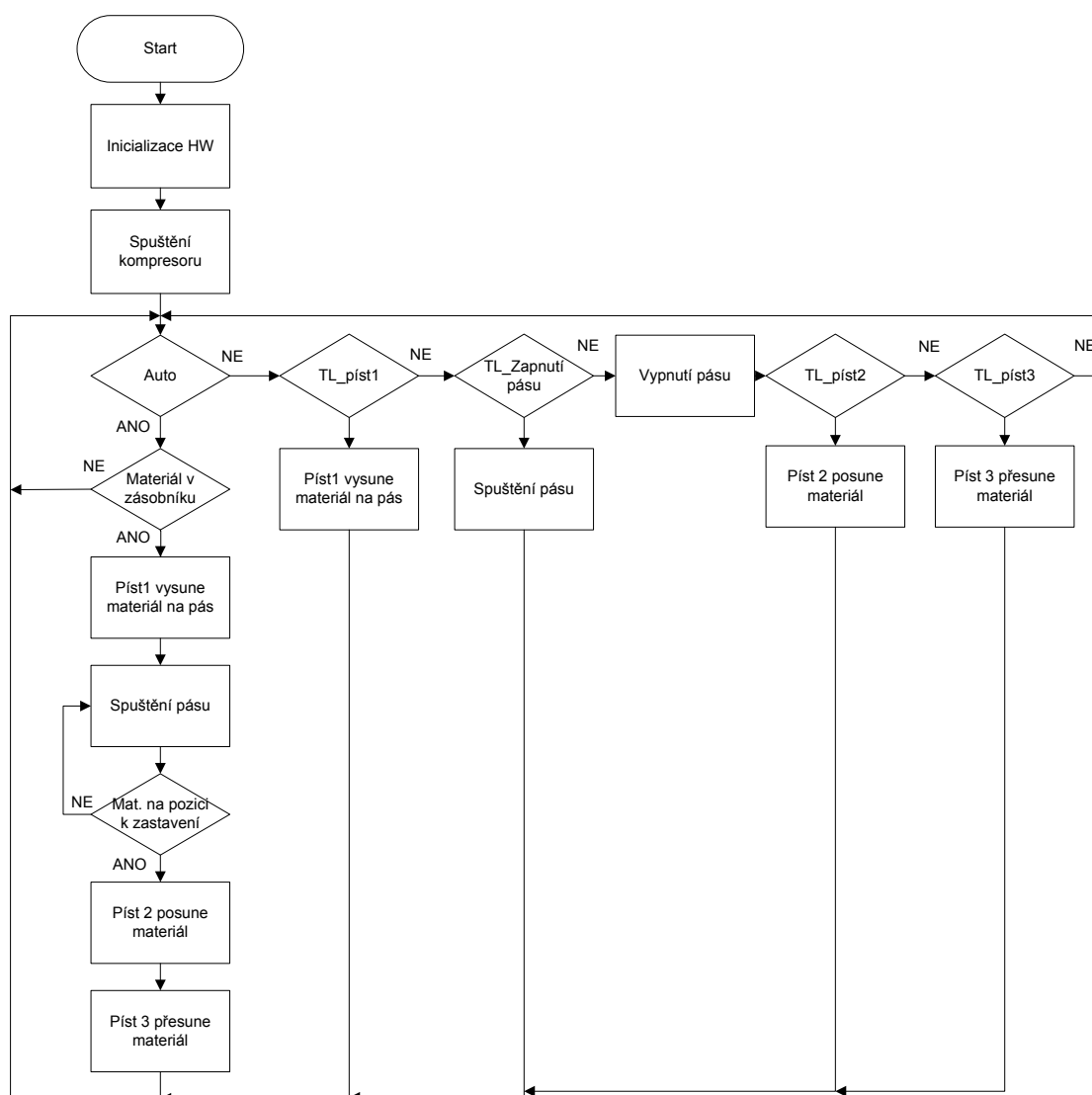
5.1 Algoritmus řízení

Po zkompletování hardwarové části řídicího systému, je potřeba navrhnout, realizovat a ověřit algoritmus řízení, podle kterého bude napsán software, jenž bude nahrán do flash paměti mikroprocesoru. Návrh algoritmu vychází z požadavků uvedených v zadání práce, ze struktury stavebnice pásového dopravníku a z funkcí mikroprocesoru.

Po startu programu se nejprve nastaví - inicializuje veškerý použitý HW a periferie mikroprocesoru a pak se spustí kompresor. Systém pak čeká na zadání svého pracovního režimu. Pokud se zvolí automatický režim, systém nejprve zkontroluje, jestli je v zásobníku materiál. Pokud ne, čeká, až se zásobník naplní materiálem. Jestliže

je v zásobníku materiál, systém dá povel prvnímu pístu, který vysune materiál na pás. Poté se zapne pohon pásu a materiál se začne pohybovat, dokud se nedostane na pozici, v níž se materiál zastaví druhým pístem. Třetím pístem se materiál přesune z pásu do kontejneru.

Pokud se na začátku programu zvolí manuální režim, systém bude ovládán uživatelem pomocí tlačítek. Mikroprocesor kontroluje jejich stavy, a pokud je nějaké tlačítko aktivní, provede se příslušný úkon. Poté mikroprocesor opět hlídá stavy jednotlivých tlačítek.



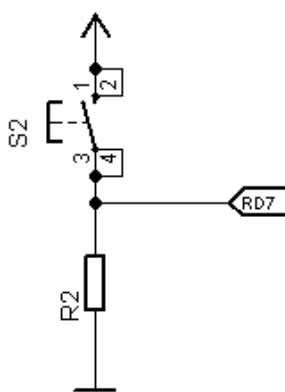
Obr. 24: Vývojový diagram algoritmu řízení

5.2 Schéma obvodu

Nadstavbová deska plošných spojů obsahuje pomocné obvody, díky nimž může mikroprocesor přijímat informace z optických snímačů umístěných na stavebnici pásového

dopravníku a také pomocí této desky může mikroprocesor vysílat příkazy pro akční členy stavebnice. Obvody, díky kterým je mikroprocesor schopný popsané interakce se stavebnicí, jsou základními obvody pro digitální vstupy a výstupy.

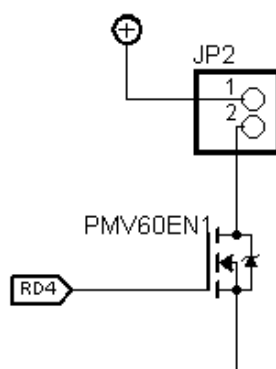
Vstupní obvody tvoří tlačítko připojené na napájecí napětí mikroprocesoru (3,3 V) a tzv. pull down odpor, který je uzemněn. Vstupem do procesoru je napětí právě na tomto odporu. Takové zapojení zajistí v případě neaktivního (nesepnutého) stavu tlačítka logickou 0 na vstup do mikroprocesoru, protože vstup mikroprocesoru je přes odpor uzemněn, tedy přiveden na nulový potenciál napětí. V případě, kdy je tlačítko sepnuto (je v aktivním stavu), se napájecí napětí připojí na uzemněný odpor a začne protékat malý proud. Proud, protékající pull down odporem vytvoří na tomto odporu úbytek napětí o velikosti napájecího napětí mikroprocesoru. Úbytek napětí na odporu je přiveden na vstup do mikroprocesoru a jeho velikost (3,3 V) odpovídá logické 1. Takto jsou zapojena všechna tlačítka, která jsou použita při manuálním režimu řídicího systému. Stejně jsou zapojeny i fototranzistory z optických snímačů. V obvodu jsou zapojeny paralelně k vybraným tlačítkům, tudíž i sepnutí těchto fototranzistorů způsobí průtok proudu, jenž na pull down odporu vytvoří úbytek napětí o velikosti 3,3 V, tedy logické 1. Takto se do mikroprocesoru dostane informace o materiálu z optických snímačů a v případě manuálního režimu se do mikroprocesoru dostane informace o tom, zda je příslušné tlačítko sepnuto. Stejně je zapojen přepínač pro volbu automatického nebo manuálního režimu práce řídicího systému.



Obr. 25: Zapojení vstupního tlačítka a jeho připojení k mikroprocesoru

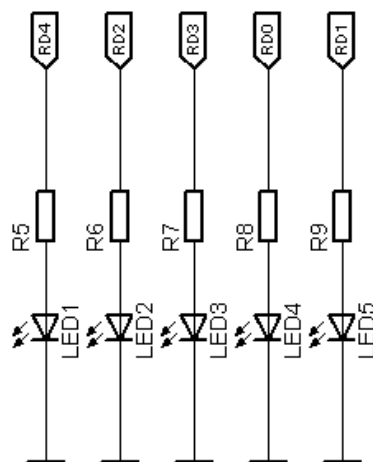
Řídicí systém musí obsahovat také výstupní obvody pro ovládání řídicích ventilů. Samotný výstup z mikroprocesoru však není schopen zajistit potřebné napětí pro sepnutí řídicího ventilu, proto je potřeba zapojit na výstup výkonové prvky. Ty jsou tvořeny unipolárními tranzistory řízenými elektrostatickým polem MOSFET typu N. MOSFET

tranzistory jsou použity jako výkonový spínací prvek. Jejich Gate elektroda je připojena na výstup z mikroprocesoru, elektroda Source je uzemněna a Drain je připojena k řídicímu ventilu, na jehož druhý pól je připojeno napájecí napětí z externího zdroje. Mikroprocesor přivede na Gate tranzistoru kladné napětí 3,3 V - logickou 1 a tím sepne tranzistor. Přes tranzistor se uzemní pól řídicího ventilu, ten je pak připojen k napájecímu napětí. Po přivedení logické 0 na Gate tranzistoru se tranzistor uzavře a odpojí napájecí napětí od řídicího ventilu. Takto je tvořeno výkonové spínání řídicího ventilu. Jsou použity tranzistory PMV60EN od výrobce NXP. Tento tranzistor je dostatečně malý a výkonný pro spínání řídicích ventilů nebo motorů, které pohánějí pás nebo kompresor.



Obr. 26: Zapojení MOSFET tranzistoru k mikroprocesoru a jeho připojení k akčnímu členu

Pro indikaci sepnutého tranzistoru je výstupní spínací obvod doplněn o indikační LED diodu, která je jedním pólem připojena na výstup mikroprocesoru přes předřadný odpor a druhým pólem uzemněna. LED dioda je zapojená v otevřeném směru. Po aktivaci výstupu mikroprocesoru (přivedení na výstup logické 1) se otevře tranzistor a LED diodou začne protékat proud, který je omezen předřadným odporem. Tento proud je natolik malý, že jej zvládne dodávat samotný výstup mikroprocesoru bez dalších doplňujících obvodů. Protékající proud přes LED diodu způsobí rozsvícení LED diody a lze tedy opticky sledovat spínání tranzistorů. Toto zapojení slouží pouze pro indikaci a kontrolu správné funkčnosti výstupních obvodů.

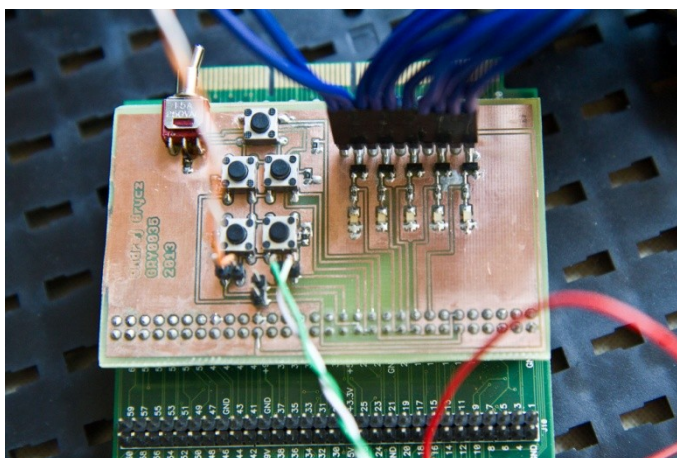


Obr. 27: Zapojení LED diod k výstupu mikroprocesoru

Složením výše popsaných zapojení vznikne schéma celé nadstavbové desky plošných spojů. Celkové schéma navrhnutého obvodu je přiloženo k práci v příloze IV - Schéma řídicí elektroniky.

5.3 Deska plošných spojů

Schéma nadstavbové desky je nakresleno v CAD systému EAGLE, pro lepší návrh samotné desky plošných spojů. Deska obsahuje výše uvedené součástky v provedení pro povrchovou montáž pro miniaturizaci desky plošných spojů, dále svorkovnice a konektory ke snadnému připojení mikroprocesoru, k optickým snímačům, elektromotorům a řídicím ventilům, které obsahuje stavebnice pásového dopravníku. Celá deska plošných spojů byla vyrobena a osazena pro demonstraci funkčnosti řídicího algoritmu.



Obr. 28: Foto desky plošných spojů

6 Závěr

V této práci byl popsán samotný mikroprocesor firmy Microchip, jeho vývojová deska včetně rozšiřující desky, vývojové prostředí v PC, možnosti programování 32 - bitových mikroprocesorů a vybrané periferie zadaného mikroprocesoru. Mikroprocesor je programován v prostředí MPLab IDE v jazyku C. Prostředí bylo vybráno z důvodu velké podpory zadaného mikroprocesoru a možnosti odlaďování a krokování programu pro usnadnění práce. Při práci s vývojovým prostředím nefungoval režim krokování. V momentě zapnutí této funkce přestalo vývojové prostředí správně pracovat a operační systém Windows ohlásil, že program neodpovídá a bylo potřeba restartovat vývojové prostředí. V jednom případě bylo nutné dokonce restartovat celý osobní počítač. Při odlaďování programu byl běh programu v mikroprocesoru zastaven, poté vývojové prostředí přestalo komunikovat s vývojovou deskou s mikroprocesorem. Řešením bylo až restartování celého počítače. Přestal totiž pracovat celý řadič USB portu v osobním počítači.

Dále byl sestaven model pásového dopravníku ze stavebnice ROBO PneuVac firmy Fischertechnik. Jednotlivé součásti stavebnice modelu jsou včetně jejich účelu popsány v předchozích kapitolách. Na modelu byl realizován navrhnutý řídicí algoritmus, jenž byl také na tomto modelu pásového dopravníku odlaďen pro svou správnou funkčnost. Jednotlivé díly stavebnice jsou vyrobeny s poměrně velkou vůlí, takže se stává, že se pás na modelu dopravníku zasekává, ale přitom se jeho hnací elektromotor dále točí. Spoj hřídele elektromotoru s převodovkou, která je připojena na hřídel pohonu pásu dopravníku, je velice opotřebovaný, takže se hřídel hnacího elektromotoru protáčí a v případě zaseknutí pásu zvyšuje opotřebení spoje.

Pro správnou interakci mezi mikroprocesorem a stavebnicí modelu pásového dopravníku, zejména mezi snímači a akčními členy této stavebnice, byl použit vývojový kit se zadaným mikroprocesorem, deska Daughter Expansion Board a vyrobená deska plošných spojů, která tvoří jakési rozhraní mezi vývojovou deskou s mikroprocesorem a stavebnicí. Desku bylo nutné vytvořit kvůli připojení stavebnice pásového dopravníku k zadanému mikroprocesoru. Obsahuje spínání digitálních výstupů se zesíleným proudovým zatížením díky použitým výstupním tranzistorů. Její výroba byla bezproblémová a po osazení byla vyzkoušena a fungovala správně po prvním zapojení.

Ukázkové funkční programy pro periferie zadaného mikroprocesoru byly napsány během studia mikroprocesoru a jejich zdrojový kód je přiložen v přílohách I až III. Byly naprogramovány periferie vstupně/výstupní porty, časovač, přerušení od časovače a sériová komunikace UART.

7 Seznam použitých pramenů

32bit USB on the go Pic32 Microcontroller. [online]. Design world online [cit. 2012-17-10]. Dostupné z WWW stránek: <http://www.designworldonline.com/uploads/ImageGallery/PIC32-USB_Block%20Diagram_w%20Chip.jpg>.

Pic32 IO Expansion Board. [online]. Farnell [cit. 2012-17-10]. Dostupné z WWW stránek: <<http://cz.farnell.com/microchip/dm320002/pic32-i-o-expansion-board/dp/2124586>>.

Pic32. [online]. John Loomis [cit. 2012-17-10]. Dostupné z WWW stránek: <http://www.johnloomis.org/microchip/pic32/PIC32_starter_board.jpg>.

MANUÁL K MIKROPROCESORU PIC32MX360F512L. [online]. [cit. 2013-1-10]. Dostupné z WWW stránek: <<http://www.microchip.com>>.

MPLAB USERS'S GUIDE. [online]. [cit. 2013-1-10]. Dostupné z WWW stránek: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/52027a.pdf>>.

HEROUT, P. *Učebnice jazyka C*. 4. vyd. České Budějovice : KOPP a.s., 2004. 180 s. ISBN: 978-80-7232-383-8.

KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy. Díl 1. Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1996. 265 s. ISBN: 978-80-2480-879-6.

PIC32 Peripheral Libraries for MPLAB C32 Compiler. [online]. [cit. 2013-1-10]. Dostupné z WWW stránek: <<http://www.microchip.com>>.

Robo PneuVac Activity Booklet [online]. [cit. 2013-1-10]. Dostupné z WWW stránek: <http://www.fischertechnik.de/en/PortalData/1/Resources/didactic/documents/activity-booklet/ROBOPneuVac/PneuVac_GB.pdf>.

PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy. Díl 1*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 1999. 158 s. ISBN 80-7078-620-5.

BRANDŠTETTER, P., PALACKÝ, P. *Úvod do mikroprocesorové techniky. Učební texty pro kombinované a distanční studium*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006. 14s.

BRANDŠTETTER, P., PAVELEK, T., SLÁDEČEK V., ŠIMONÍK P. *Elektronika. Prvky elektronických obvodů. Učební text*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 142s. ISBN 978-80-248-1481-0.

Kopáček, J. - Pavlok, B. *Tekutinné mechanismy*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 1994. 156 s. ISBN 80-7078-238-2.

KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy. Díl I*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.

Palacký, P. *Mikroprocesory. Učební texty pro kombinované a distanční studium*. VŠB-TU Ostrava, 2005.

8 Seznam příloh

Příloha I - Ukázkový program pro vstupně/výstupní port

Příloha II - Ukázkový program pro sériovou komunikaci UART

Příloha III - Ukázkový program pro časovač

Příloha IV - Schéma řídicí elektroniky

Příloha V - Předloha pro výrobu desky plošných spojů řídicí elektroniky

Příloha VI - Rozmístění součástek na desce plošných spojů řídicí elektroniky